

Экономическая методология

Памяти Лейфа Йохансена: первая в мире CGE-модель и ее демонстрация на примере России

Владимир Викторович Седалищев*ORCID: 0000-0002-3197-4639*

Кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник,
Институт прикладных экономических исследований РАНХиГС
(РФ, 119571, Москва, пр. Вернадского, 82);
старший преподаватель Всероссийской академии внешней торговли,
Министерство экономического развития Российской Федерации
(РФ, 119285, Москва, Воробьевское шоссе, 6А);
эксперт Центра макроэкономических исследований,
Научно-исследовательский финансовый институт
Министерства финансов Российской Федерации
(РФ, 127006, Москва, Настасьинский пер., 3, стр. 2)
E-mail: Sedalischew-VV@ranepa.ru

Аннотация

Сорок лет назад умер Лейф Йохансен, и, пожалуй, лучший способ почтить его память как ученого — это продемонстрировать, что его идеи до сих пор живы и способны вдохновлять на новые исследования. Поэтому в настоящей статье созданная им в конце 1950-х первая в мире CGE-модель MSG была адаптирована к современной российской статистике, а затем с ее помощью проведены расчеты последствий реализации двух групп сценариев: (1) присоединения к России в 2022 году новых четырех регионов и (2) полной торговой блокады России из-за обострения кризиса на Украине. В процессе подготовки входных данных был разработан алгоритм балансировки таблиц «Затраты — выпуск», основанный на некотором дискретном аналоге алгоритма эластичного фильтра. Этот подход вполне можно использовать и для подготовки входных данных для других однорегиональных CGE-моделей. Построенная российская версия MSG может использоваться при обучении студентов и аспирантов, а также в качестве модели-оценки при предварительных расчетах, отладке более сложных CGE-моделей или как инструмент при оценке границ импортозамещаемости, производственных границ страны и различных структурных параметров CGE-моделей. Несмотря на то что с момента создания CGE-модели MSG прошло шестьдесят с лишним лет, она до сих пор, по существу, не выглядит устаревшей и содержит некоторые подчас незаслуженно забытые в ряде современных CGE-моделей элементы.

Ключевые слова: Лейф Йохансен, модель многоотраслевого роста (MSG), последствия кризиса на Украине, балансировка таблиц «Затраты — выпуск», незамещаемый импорт.

JEL: E16, F13, F15.

Статья поступила в редакцию в феврале 2023 года

Economic Methodology

In Memory of Leif Johansen: The World's First CGE Model and Its Application to Russia

Vladimir V. Sedalishchev

ORCID: 0000-0002-3197-4639

Cand. Sci. (Phys.-Math.), Senior Researcher,
Institute of Applied Economic Research, RANEPa;^a
Senior Lecturer, Russian Foreign Trade Academy of the Ministry
of Economic Development of the Russian Federation;^b
Expert, Center for Macroeconomic Research of the Financial Research Institute
of the Ministry of Finance of the Russian Federation,^c
sedalishchev-VV@ranepa.ru

^a 82, Vernadskogo pr., Moscow, 119571, Russian Federation

^b 6A, Vorob'evskoe shosse, Moscow, 119285, Russian Federation

^c 3, str. 2, Nastas'inskiy per., Moscow, 127006, Russian Federation

Abstract

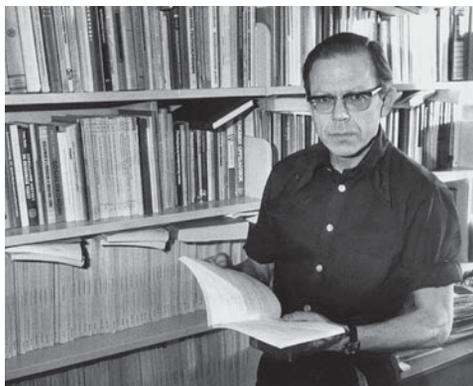
Perhaps the best way to honor Leif Johansen's legacy as a theorist on the fortieth anniversary of his death is to show that his ideas are still pertinent and able to inspire new research. This paper adapts the world's first CGE model for MSG, which he created in the late 1950s, to current Russian statistics. The CGE model has been used to calculate the consequences to be anticipated from two groups of scenarios: 1) accession to Russia of four new regions in 2022; and 2) a complete trade blockade of Russia due to exacerbation of the crisis in Ukraine. During preparation of the input data, balancing of the input-output tables was achieved by developing an algorithm based on a certain discrete analog of the elastic filter algorithm. This approach can also be used to prepare input data for other single-region CGE models. The version of MSG that was constructed for Russia can be used for teaching university students, as a BOTE model, or for debugging more complex CGE models, or as an auxiliary tool for estimating import substitution frontiers, country production frontiers or various structural parameters of CGE models. Despite the more than six decades that have passed since its inception, the MSG model still does not look outdated in essence and contains some elements that are sometimes undeservedly overlooked in a number of modern CGE models.

Keywords: Leif Johansen, Multi-Sectoral Growth model (MSG), consequences of the crisis in Ukraine, balancing input-output tables, non-competitive imports.

JEL: E16, F13, F15.

Введение

Норвежский экономист Лейф Йохансен (11.05.1930–29.12.1982) мало известен российским ученым¹, хотя, как отмечал ныне покойный глава Центрального банка Норвегии Эйстейн Олсен, «научных результатов Л. Йохансена вполне хватило бы на Нобелевскую премию по экономике, но, к сожалению, он умер в сравнительно молодом для этой премии возрасте» [Olsen, 2010]. Косвенно о справедливости этой оценки свидетельствует то, что, например, нобелевский лауреат по экономике Роберт Солоу писал про Йохансена следующее: «...норвежская экономическая наука нашла естественного преемника Фриша и Ховельмо, человека, способного продолжить великую традицию Осло» [Solow, 1983]. Напомним, что являвшиеся научными руководителями Йохансена оба упомянутых Солоу норвежских экономиста — нобелевские лауреаты, причем первый из них, Рагнар Фриш, известен в том числе как автор терминов «макроэкономика» и «эконометрика».



Источник: https://nbl.snl.no/Leif_Johansen.

Рис. 1. Лейф Йохансен, 1979 год

Fig. 1. Leif Johansen in 1979

В свете 40-й годовщины со дня смерти Йохансена в 1982 году, пожалуй, лучший способ почтить его память как ученого — это продемонстрировать, что его идеи до сих пор живы и способны вдохновлять на новые исследования. Поскольку научные интересы Йохансена были крайне обширны (экономика труда, эконометрика, теория производства, теория игр, макроэкономическое прогнозирование, экономический рост и пр.), то настоящая ста-

¹ Отметим, тем не менее, работы академика А. А. Шананина [Шананин, 1997; 1997; 1999], посвященные обобщению одной из производственных моделей Л. Йохансена, и русский перевод [Йохансен, 1982] учебника Л. Йохансена [Johansen, 1979] по макроэкономическому планированию.

тъя ограничивается лишь применением к наиболее актуальным российским данным модели из докторской диссертации Йохансена, опубликованной в 1960 году в виде монографии [Johansen, 1960], которая уже при его жизни стала библиографической редкостью. Подробнее познакомиться с обзором научного наследия Йохансена заинтересованный читатель может, например, в работах [Bjerkholt, 2009; Førsund et al., 1985; Solow, 1983; Thalberg, 2000].

Несмотря на отмеченные трудности с доступом к тексту [Johansen, 1960], на протяжении уже более 60 лет интерес к этой диссертации не пропадает. Основной причиной этого является то, что в ней в достаточно конденсированной форме были сформулированы практически все ключевые идеи такой бурно развивающейся в наши дни области макроэкономического моделирования, как вычислимые модели общего равновесия (Computable General Equilibrium models, далее — CGE-модели). Более того, большинство специалистов (см., например, [Сулакшин и др., 2021; Dixon et al., 2013; Zalai et al., 2016]) сходятся во мнении, что первой полноценной CGE-моделью была именно модель MSG² из диссертации Йохансена [Johansen, 1960], поэтому его можно справедливо назвать отцом CGE-моделирования.

Любопытно, что, по современным меркам, эту модель нельзя назвать простой, так как в ней есть такие элементы, как определяемые линейной системой расходов полезности домохозяйств, убывающая отдача от масштаба в выбранных секторах, эндогенное накопление основного капитала и элементы рекурсивной динамики при необходимости получения долгосрочных прогнозов.

Йохансен с самого начала 1960-х годов сталкивался с неприятием. Например, уже упоминавшийся нобелевский лауреат Солоу в обтекаемых формулировках вспоминал, что у Йохансена «было постоянное приглашение посетить Массачусетский технологический институт, когда и как он хотел, но он никогда не был готов сделать это, видимо, по политическим мотивам, которые я прекрасно понимал» [Solow, 1983]. О том, что причина была на самом деле не в каких-то личных «политических мотивах» Йохансена (по воспоминаниям коллег в [Førsund et al., 1985; Thalberg, 2000]), он был очень легким в общении человеком, всегда открытым к обмену знаниями), а в постоянных отказах ему в американской визе, можно прочесть в [Bjerkholt, 2009; Thalberg, 2000]. Эти отказы мотивировались его членством в коммунистической партии Норве-

² Multi-Sectoral Growth model – модель многоотраслевого роста.

гии (НКР), а также открытыми симпатиями к Советскому Союзу. Последние были у Йохансена по двум причинам: (1) он признавал решающий вклад СССР в победу над гитлеровской Германией, а значит, и в освобождение своей родины от немецкой оккупации, в тяжелых условиях которой прошло шесть лет его детства, и (2) в СССР он видел государство, претворяющее в жизнь его коммунистические идеалы, хотя в последние годы своей жизни он неоднократно отмечал, что советская экономика стала двигаться в неверном направлении, а в системе планирования появились многочисленные признаки деградации. Своим увлечением коммунистическими идеями он был в первую очередь обязан отцу — лейтенанту норвежской армии, который также долгое время был членом НКР.

Тем не менее, хотя Йохансен периодически сталкивался с санкциями из-за симпатий к СССР, его научные достижения практически сразу же получали широкое признание у западных экономистов, в отличие от советских. Последние — скорее всего, из-за трудностей научной коммуникации в то время — в большинстве своем просто не знали о существовании Йохансена, хотя он, как показывают его обзоры [Johansen, 1966; 1976], был прекрасно осведомлен об основных достижениях современных ему советских коллег.



Источник: <http://kantorovich.vixpo.nsu.ru/>.

Рис. 2. Л. Йохансен и единственный советский лауреат Нобелевской премии по экономике Л. В. Канторович

Fig. 2. L. Johansen and the Only Soviet Nobel Prize Winner in Economics L. V. Kantorovich

Наиболее показательна как раз таки история CGE-моделирования. Норвежские власти практически сразу после публикации диссертации в 1960 году [Johansen, 1960] продолжили свое сотрудничество с Йохансеном с целью дальнейшего развития его модели

и ее использования при принятии решений, что вылилось в череду CGE-моделей: MSG-2, MSG-3 и т. д. Самая последняя на сегодня номерная версия MSG, по-видимому, шестая (см., [Bjerkholt, 2009; Heide et al., 2004]), и она датируется началом 2000-х годов, однако в ней уже трудно узнать черты ее прародительницы MSG-1 из конца 1950-х. Существуют и более свежие неномерные версии 2010-х годов, например MSG-TECH, ориентированная на климатическую повестку [Fæhn et al., 2013].

Столь же быстро внедрялись инновации Йохансена в макроэкономическом прогнозировании и почти на противоположной стороне земли, в Австралии. Так, уже во второй половине 1970-х годов CGE-модель MSG была существенно доработана в рамках правительственного проекта IMPACT, получив название ORANI (в честь жены Петера Диксона, одного из ключевых разработчиков), а затем широко использовалась властями Австралии при обсуждении тарифной политики. До сих пор потомки CGE-модели ORANI широко используются различными (и не только австралийскими) экономистами, а по степени популярности эти австралийские модели уже в 1980-е годы заметно превосходили своих норвежских «родственников», по-видимому, из-за создания удобной программной экосистемы на базе пакета программ GEMPACK, который позволил разделить процессы численного решения различных математических задач и, собственно, программирования CGE-моделей на специально разработанном языке TABLO³. Подробное описание модели ORANI и результатов проведенных с ее помощью расчетов можно найти в 400-страничном отчете [Dixon et al., 1982].

Помимо Норвегии и Австралии с конца 1960-х до начала 1990-х масштабная разработка CGE-моделей велась в США, однако там это делалось в другой парадигме так называемого AGE-моделирования (Applied General Equilibrium — прикладное общее равновесие), которая, казалось, изначально не имела ничего общего с подходом Йохансена, поскольку в ее основе лежали различные варианты модели общего равновесия Эрроу — Дебрё, а не модели MSG. Основы американского подхода были заложены Гербертом Скарфом в работе [Scarf, 1967]. Со временем специалисты стали считать, что между подходами на самом деле очень много общего, и в наши дни термины «CGE-моделирование» и «AGE-моделирование» стали практически синонимами (см. [Mitra-Kahn, 2008; Rutherford, 1999]).

³ Списки CGE-моделей австралийского происхождения и их известных пользователей, схемы родственных связей между этими моделями, а также связанные публикации можно найти на сайте программного пакета GEMPACK, в который в итоге эволюционировали австралийские наработки в области CGE-моделирования 1970-х, <https://www.copsmodels.com/gempack.htm>.

В других странах более-менее заметных работ по CGE-моделированию в 1960–1990-х годах не велось. В отношении России можно сказать, что, согласно [Сулакшин и др., 2021], первая в России CGE-модель была создана лишь в 1997 году академиком Валерием Макаровым. Есть основания думать, что многие серьезные просчеты в экономической политике 1980-х и 1990-х годов в нашей стране могли быть предотвращены, в частности, с помощью экспертизы на базе CGE-моделей, о которых в СССР в подробностях, по-видимому, никто так и не узнал.

Горькая ирония здесь заключается в том, что первые CGE-модели 1960-х, основанные на наработках Йохансена, были более адекватны для исследования именно плановой советской экономики, а не экономик капиталистических стран, в которых, тем не менее, как уже сказано, они практически сразу нашли себе широкое применение. Поэтому по-своему забавно читать некоторые труды Йохансена, бывшие в свое время очень популярными на Западе, в которых приведены почти обязательные для советских ученых ссылки на Маркса, Энгельса и Ленина (см., например, вводную часть первой главы учебника [Johansen, 1979]). Впрочем, как отмечалось в [Eatwell, 1987], политические предпочтения почти не оставили следа в профессиональных работах Йохансена: по большинству из них неосведомленный читатель не сможет понять, каких политических взглядов придерживался автор.

В первом разделе настоящей статьи будут кратко рассмотрены входные данные для модели Йохансена и проведена подготовка их наиболее важной части, связанная с устранением неизбежно имеющихся в статистике расхождений. Затем для иллюстрации возможностей MSG на основе полученных входных данных будет сделана количественная оценка двух групп сценариев развития российской экономики, гипотетических и во многом условных, но созвучных с обсуждениями в прессе.

Первая группа сценариев с точки зрения моделирования стандартна, поскольку подобные сценарии в основном и исследовались Йохансеном в его диссертации [Johansen, 1960]: в них при «естественном» замыкании модели происходят экзогенные изменения запасов капитала K и труда L в экономике, а также численности населения N . В контексте текущей ситуации для России они будут связаны с оценкой эффектов от присоединения к ней четырех новых регионов. Вторая группа сценариев описывает ситуацию полной торговой блокады России, то есть прекращение ею экспорта и импорта любых товаров и услуг. Этот тип сценариев в некотором роде нарушает привычную логику работы типовых односторонних CGE-моделей, так как делает экзогенными все физические объемы импорта, что на фоне стандартного предпо-

ложения о малости моделируемой открытой экономики, влекущего экзогенность цен импорта, приводит к переопределенности подсистем уравнений CGE-моделей, так или иначе связанных с импортом. С математической точки зрения подобные «патологические» ситуации давно изучаются в рамках теории обратных и некорректных задач⁴, однако, раз наша цель — только проиллюстрировать работу модели Йохансена, анализ будет ограничен лишь наиболее простым в реализации подходом, который, конечно же, не будет лишен недостатков.

1. Входные данные модели и их балансировка

Входные данные для российской адаптации CGE-модели Йохансена можно разделить на две части, причем первая тесно связана со статистикой системы национальных счетов (далее — СНС), а вторая содержит данные по различным эластичностям. Для первой части источником данных были опубликованные Росстатом таблицы «Затраты — выпуск» (далее — ТЗВ) за 2016 год в детализации 98 отраслей и данные по распределению занятых и основного капитала в разрезе разделов ОКВЭД. В отношении второй части стоит отметить, что в оригинальной модели Йохансена в производственных узлах использовались только суперпозиции функций Леонтьева и Кобба — Дугласа, и поэтому, в отличие от большинства современных CGE-моделей с произвольными CES-функциями (constant elasticity of substitution — постоянная эластичность замещения), в этом случае нет нужды в большом объеме данных о значениях их эластичностей замещения (ведь они равны 0 и 1 соответственно). Для отраслей с убывающей отдачей от масштаба дополнительно требуются эластичности выпуска (показатели отдачи от масштаба). Их значения были взяты из [Johansen, 1960]. Поскольку в рассматриваемом случае имеется более детальная, чем у Йохансена, статистика по использованию импорта, то вводятся дополнительно CES-узлы при выборе потребления между импортными и отечественными благами у домохозяйств. Эластичности замещения σ_i^{MD} для них брались из базы данных GTAP 10⁵.

Входные данные CGE-модели должны описывать некоторое равновесие исследуемой экономики (обычно принимаемое за базовое), поэтому модель при правильной калибровке своих параметров должна его в точности воспроизводить на всех своих уравнениях за ноль итераций, что часто используется на практике при отладке (см., например, раздел 3.3 в [Rutherford, 2005]).

⁴ См., например: Кабанихин С. И. Обратные и некорректные задачи. Новосибирск: Сибирское научное издательство, 2009.

⁵ Global Trade Analysis Project.

Если обратиться к данным Росстата с ТЗВ за 2016 год, номинированными в миллионах рублей, то окажется, что местами неувязки между строковыми и столбцовыми итогами, которые должны быть одинаковы из-за равенства доходов и расходов, могут достигать десятков миллионов рублей. На самом деле это немного, так как обычный порядок величин в итогах — триллионы и миллиарды, а число отраслей — около ста. Тем не менее такая разбалансированность ТЗВ не позволяет запустить модель Йохансена.

Специалисты Росстата в оглавлении ТЗВ пишут, что «незначительные расхождения между итогом и суммой слагаемых объясняются округлением данных»⁶. Тем самым подсказывается решение — построить модель двоичного целочисленного программирования для устранения дисбалансов в данных. Эта модель впоследствии будет решаться в GAMS с помощью библиотеки CPLEX, но для начала обратимся к табл. 1 со схемой ТЗВ, публикуемых Росстатом.

Т а б л и ц а 1

**Схема таблиц из набора ТЗВ России за 2016 год
(в некоторых таблицах ряд строк пропущен)**

T a b l e 1

**Scheme of Tables From the Set of IOTs for Russia in 2016
(a number of lines are omitted in certain tables)**

| | Отрасли | Подытог 1 | Конечное потребление | Подытог 2 | Накопление капитала | Подытог 3 | Экспорт | Подытог 4 | Итог |
|--------------------|---------|-----------|----------------------|-----------|---------------------|-----------|---------|-----------|------|
| Товары | | | | | | | | | |
| Корректировки | | | | | | | | | |
| Налоги на продукты | | | | | | | | | |
| Подытог 5 | | | | | | | | | |
| Компоненты ВДС | | | | | | | | | |
| Итог ВДС | | | | | | | | | |
| Выпуск | | | | | | | | | |
| Импорт | | | | | | | | | |
| Итого ресурсы | | | | | | | | | |

Примечания: 1. ВДС — валовая добавленная стоимость. 2. Подытоги могут относиться как к предшествующей, незакрашенной, строке или столбцу схемы, так и быть суммой предыдущих подытогов.

Источник: составлено автором на основе российских ТЗВ 2016 года по данным Росстата. [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/baz-tzv-2016\(1\).xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/baz-tzv-2016(1).xlsx).

⁶ См. вкладку «Содержание» рабочей книги с ТЗВ России за 2016 год. [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/baz-tzv-2016\(1\).xlsx](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/baz-tzv-2016(1).xlsx).

Закрашены в табл. 1 только блоки ячеек, являющиеся суммой других ячеек. Сами ТЗВ состоят из трех таблиц: общей, для отечественной продукции и для импортной. Среди них наиболее насыщена строками первая. В остальных часть строк отсутствует. Эти таблицы связаны между собой различными соотношениями: какие-то ячейки у них одинаковы, какие-то итоги и подытоги совпадают при транспонировании или без него.

Пусть r , c и t — индексы строк, столбцов и типов ТЗВ (последних, напомним, всего три) соответственно. Тогда через $\bar{T}_{r,c}^{(t)}$ обозначим значение из исходных ТЗВ Росстата в таблице типа $t \in \{\text{итоговая, отечественная, импортная}\}$ для строки r и столбца c . Если в какой-то таблице t отсутствуют строка r , то полагаем $\bar{T}_{r,c}^{(t)} = 0$ для всех c .

Введем множества $S_{i,j}^{(t)} \subseteq \{(r, c)\}_{r,c}$ упорядоченных пар (r, c) , для которых сумма элементов $\bar{T}_{r,c}^{(t)}$ должна в идеале равняться $\bar{T}_{i,j}^{(t)}$, то есть $S_{i,j}^{(t)}$ показывает, суммированием каких ячеек таблицы t формируется подытог или итог в ячейке (i, j) этой же таблицы. Если ячейка (r, c) не является подытогом или итогом, то положим $S_{r,c}^{(t)} = \{(r, c)\}$.

В ТЗВ исходных Росстата за 2016 год все транзакции были записаны целыми числами, которые, согласно примечанию об округлении, должны отличаться от истинных значений менее чем на 1 млн руб. Поскольку наша цель — сбалансировать эти целочисленные таблицы с минимальным искажением в некотором (пока еще не определенном строго) смысле, то введем переменные $e_{r,c}^{+(t)}$ и $e_{r,c}^{-(t)}$, принимающие лишь значения 0 и 1, для отклонения суммы транзакции $\bar{T}_{r,c}^{(t)}$ на 1 млн руб. в большую или меньшую стороны. Тогда транзакции сбалансированных ТЗВ будут $T_{r,c}^{(t)} := \bar{T}_{r,c}^{(t)} + e_{r,c}^{+(t)} - e_{r,c}^{-(t)}$.

Естественными пожеланиями к значениям бинарных переменных $e_{r,c}^{+(t)}$ и $e_{r,c}^{-(t)}$ будут следующие: (1) $e_{r,c}^{+(t)}$ и $e_{r,c}^{-(t)}$ не могут одновременно равняться 1, так как в этом случае эффект будет таким же, как если бы они были нулями, то есть никаких изменений $\bar{T}_{r,c}^{(t)}$; (2) если $\bar{T}_{r,c}^{(t)} = 0$, то должно быть $e_{r,c}^{+(t)} = e_{r,c}^{-(t)} = 0$, так как эти переменные должны исправлять ошибки округления, а не создавать новые транзакции там, где их изначально не было; (3) если $\bar{T}_{r,c}^{(t)} = -1$ или $\bar{T}_{r,c}^{(t)} = 1$, то, по возможности, не хотелось бы занулять подобные минимальные транзакции, а значит, для таких $\bar{T}_{r,c}^{(t)}$ должно быть $e_{r,c}^{+(t)} = e_{r,c}^{-(t)} = 0$, если это возможно; (4) и если на выбор можно поменять две ячейки для достижения баланса, то желательно поменять значение большей по модулю ячейки, чтобы потенциальная относительная ошибка была меньше.

В этой связи для измерения «веса» ячеек исходной ТЗВ введем следующий параметр: $w_{r,c}^{(t)} := 100 / |\bar{T}_{r,c}^{(t)}|$, если $\bar{T}_{r,c}^{(t)} \neq 0$, и $w_{r,c}^{(t)} := 0$ при

$\bar{T}_{r,c}^{(t)} = 0$. Нетрудно догадаться, что $w_{r,c}^{(t)}$ показывает, как в процентах изменится значение $\bar{T}_{r,c}^{(t)}$ при возмущении на 1 млн руб.

Тогда, по-видимому, простейшая задача двоичного целочисленного программирования для балансировки ТЗВ, удовлетворяющая (1), (2) и (4), может быть записана следующим образом:

$$\begin{aligned} \sum_{t,r,c} \{w_{r,c}^{(t)}(e_{r,c}^{+(t)} + e_{r,c}^{-(t)})\} &\rightarrow \min \{e_{r,c}^{+(t)}, e_{r,c}^{-(t)}\}_{t,r,c} \text{ при ограничениях} \\ \sum_{(i,j) \in S_{r,c}^{(t)}} \{\bar{T}_{i,j}^{(t)} + e_{i,j}^{+(t)} - e_{i,j}^{-(t)}\} &= \bar{T}_{r,c}^{(t)} + e_{r,c}^{+(t)} - e_{r,c}^{-(t)}, \\ e_{r,c}^{+(t)} = e_{r,c}^{-(t)} = 0, &\text{ если } \bar{T}_{r,c}^{(t)} = 0 \text{ и} \\ e_{r,c}^{+(t)}, e_{r,c}^{-(t)} &\in \{0, 1\}. \end{aligned}$$

Решить эту задачу с полным выполнением пожелания (3) не удастся для российских ТЗВ за 2016 год, однако для ограничения из (3) для блока добавленной стоимости и ограничения $e_{r,c}^{+(t)} = e_{r,c}^{-(t)} = 0$ при $\bar{T}_{r,c}^{(t)} = -1$ для прочих блоков ТЗВ можно найти решение, на котором значение линейной целевой функции $\sum_{t,r,c} \{w_{r,c}^{(t)}(e_{r,c}^{+(t)} + e_{r,c}^{-(t)})\}$ оказывается равным 15 285,5%, что на первый взгляд много для общей суммы процентных изменений по всем ячейкам ТЗВ.

Чтобы получить представление о качестве проведенной балансировки, обратимся к рис. 3, на котором приведен график распределения больших 1% по модулю отклонений транзакций сбалансированной ТЗВ от транзакций исходной ТЗВ.

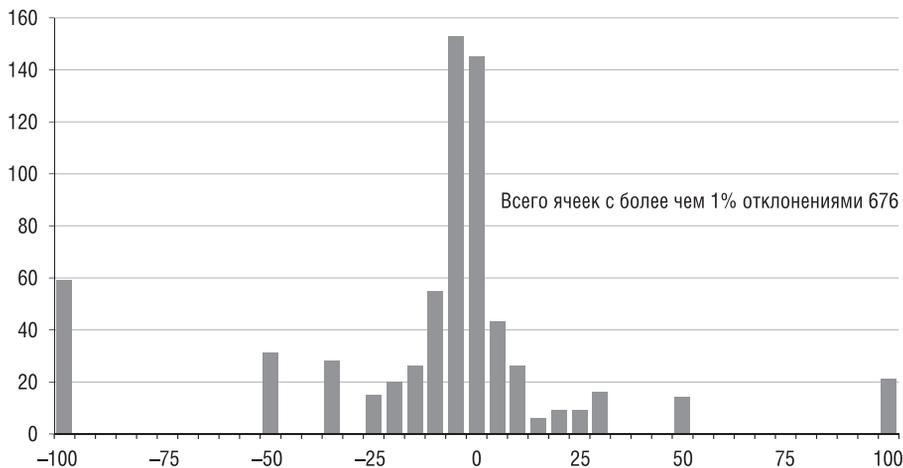


Рис. 3. Распределение процентных изменений, больших 1% по модулю, при балансировке ТЗВ с помощью решения задачи двоичного целочисленного программирования

Fig. 3. Distribution of Percentage Changes Greater Than 1% Modulo When Balancing the IOT Using the Solution for the Binary Integer Programming Problem

Отметим, что всего ненулевых элементов в исходной ТЗВ было 26 883. Таким образом, в результате балансировки изменения по модулю, бóльшие 1%, были обнаружены только у 2,5% ненулевых элементов ТЗВ, про которые, по смыслу решавшейся задачи, можно также сразу сказать, что они отвечают транзакциям с абсолютной величиной менее 100 млн руб. Вклад этих 2,5% ненулевых ячеек в целевую функцию (ее значения выражаются в процентах) составил 15 035,2 из 15 285,5%, то есть на остальные 97,5% ненулевых ячеек ТЗВ пришлось менее 2,5% значения целевой функции.

Из рис. 3 видно, что, к сожалению, 59 ячеек ТЗВ с величиной 1 млн руб. пришлось занулить (снижение 100%). Если внимательно посмотреть на эти ячейки в исходной ТЗВ, то в большинстве случаев сравнительно легко объяснить неизбежность их зануления. Например, в строке ТЗВ «29.7. Бытовые приборы, не включенные в другие группировки» для итоговой таблицы при балансировке исчезло пять транзакций по 1 млн руб., что объясняется тем, что бóльшая часть из них была нулевой в таблице импорта и таблице отечественной продукции, а значит, их сумма при следовании правилу консерватизма нулевых транзакций неизбежно даст нулевое значение в итоговой таблице, что и произошло. Схожими причинами объясняется наличие 21 ячейки ТЗВ с величиной 1 млн руб., которые пришлось удвоить при балансировке (крайний правый столбик на рис. 3 — рост 100%). Например, на этот раз в строке ТЗВ «15.3. Фрукты, овощи и картофель переработанные и консервированные» итоговой таблицы были удвоенны 4 транзакции по 1 млн руб., из-за того что соответствующие ячейки для таблиц импорта и отечественной продукции также были равны 1 млн руб. и их сумма при следовании пожеланию (3) должна стать 2 млн руб. вопреки данным исходной итоговой таблицы.

Выбранный гибкий по части добавления новых ограничений подход к балансировке, несмотря на некоторую кажущуюся его искусственность, в определенном смысле является дискретной версией алгоритма эластичного фильтра (elastic filter algorithm) из монографии [Chinneck, 2007], используемого для локализации противоречивых ограничений в задачах оптимизации. Такой взгляд на алгоритм позволяет понять, как использовать построенную задачу двоичного целочисленного программирования для поиска неразрешимых противоречий в исходных данных. Тем не менее что делать с найденной системой противоречивых условий, алгоритм сказать не может, и поэтому окончательное решение остается за пользователем. Недаром в разделе 2.4.6 из [Dixon, Jorgenson, 2013] отмечалось, что одним из наиболее трудных

и наименее изучаемых навыков в CGE-моделировании является сборка входных баз данных для CGE-моделей.

2. Оценка последствий присоединения новых регионов к России

Если обратиться к региональным данным по численности населения и рабочей силы Государственной службы статистики Украины (ГССУ) за 2013, 2014 и 2021 годы, то при предположении о неизменности численности населения вошедших в состав России четырех регионов и структуры его занятости (весьма сильном в условиях продолжающихся боевых действий) мы получим рост в 6% как для N , так и для L по результатам завершения процессов объединения с Россией. Для запасов капитала на основе различных экспертных оценок было принято решение моделировать рост запасов основного капитала K у России по результатам вхождения в ее состав новых регионов как увеличение его на 1%.

Можно рассмотреть два условных сценария вхождения территорий в состав России: (1) так называемый иждивенческий, когда население новых территорий не работает, но потребляет товары и услуги на уровне остальных россиян ($N = 1,06 \times \bar{N}$, $K = \bar{K}$ и $L = \bar{L}$), и (2) полное объединение, при котором население этих территорий работает как раньше и живет в среднем так же, как остальные россияне ($N = 1,06 \times \bar{N}$, $K = 1,01 \times \bar{K}$ и $L = 1,06 \times \bar{L}$). Черточки над именами переменных, как это обычно принято в CGE-моделировании, означают значение соответствующей переменной в базовом равновесии.

Как уже говорилось ранее, все расчеты с моделью Йохансена проводились на базе данных с 98 отраслями российской ТЗВ за 2016 год. Такая максимально возможная (на доступных данных) детализация была выбрана, чтобы уменьшить ошибку прогноза CGE-модели из-за чрезмерной агрегации (aggregation bias), которая может возникать из-за неучета взаимодействий между агрегированными отраслями (подробнее о проблемах, связанных с чрезмерной агрегацией, можно, например, прочесть в [Britz, Van der Mensbrugge, 2016]). Для сравнения отметим, что в США Комиссия по международной торговле (US International Trade Commission) в качестве стандартного инструмента экспертизы использует CGE-модель USAGE с более чем 500 отраслями, так что реализация модели Йохансена, представленная в настоящей статье, еще сравнительно небольшая, по современным меркам.

Однако показывать результаты расчетов даже для 98 отраслей достаточно затруднительно из-за громоздкости получаемых та-

блиц, поэтому была произведена агрегация результатов до 14 отраслей/товаров согласно схеме агрегации из табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Схема агрегации 98 отраслей/товаров российской ТЗВ до 14 используемых при демонстрации результатов расчетов построенной CGE-модели Йохансена

T a b l e 2

**Russian IOT Aggregation Schema for 98 Industries and Commodities up to 14
Used in Demonstrating the Results of Calculations
of the Constructed Johansen CGE Model**

| Отрасль в агрегации результатов | Коды ОКПД | Отрасль в агрегации результатов | Коды ОКПД |
|---|-----------------|---|-----------------------------|
| Сельское, лесное и рыбное хозяйство | от 01.1 до 05 | Металлургия и металлообработка | от 27.1 до 28.7 |
| Добыча полезных ископаемых | от 10 до 14 | Машиностроение | от 29.1 до 35 + 39.9* |
| Пищевая промышленность | от 15.1 до 16 | Прочая обрабатывающая промышленность | от 36.1 до 37 |
| Легкая промышленность | от 17 до 19 | Электро- и теплоэнергия и коммунальные услуги | от 40.1 до 41 |
| Переработка древесины | от 20 до 22.3 | Строительство | 45 |
| Химическая и нефтехимическая промышленность | от 23.1 до 25.2 | Транспортные услуги | от 60.1 до 63 |
| Строительные материалы* | от 26.1 до 26.8 | Прочие услуги | от 50 до 55.5 и от 64 до 95 |

* Включая продукты стекольной и фарфоро-фаянсовой промышленности.

К сожалению, производимая агрегация пригодна лишь для представления результатов, связанных со стоимостными показателями: даже для классической леонтьевской модели, как отмечалось более 65 лет назад в [McManus, 1956], не всегда возможно найти значения для цен и физических объемов агрегированных товаров, которые бы были согласованы с точки зрения модели в том или ином смысле с исходным разбиением секторов. Поэтому в случае возникновения необходимости посмотреть на изменения физических объемов или цен мы будем вынуждены обращаться к неагрегированным результатам с 98 отраслями.

Тем не менее косвенное представление об изменении цен и физических объемов можно получить за счет стоимостных объемов транзакций с экзогенными ценами или физическими объемами. В этой связи посмотрим, например, на табл. 3, в которой приведена декомпозиция изменения российского ВВП в ценах 2016 года по расходам и по доходам в случае реализации иждивенческого сценария (в скобках указаны стоимостные объемы в млрд руб.).

Т а б л и ц а 3

**Декомпозиция изменения российского ВВП в ценах 2016 года по расходам и по доходам
(в % и млрд руб.) в случае реализации иждивенческого сценария**

T a b l e 3

**Decomposition of Russian GDP Changes in 2016 Prices by Expenditures and Revenues
(in % and bln RUB) for the Encumbrance Scenario**

| ВВП по расходам | | ВВП по доходам | |
|---------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|
| показатель | изменение | показатель | изменение |
| Номинальный ВВП | -0,03% (-27,7) | Номинальный ВВП | -0,03% (-27,7) |
| Потребление домохозяйств | +0,05% (+23,0) | Амортизация | +0,01% (+0,7) |
| Потребление правительства | -0,03% (-5,0) | Чистые капитальные затраты | -0,08% (-28,2) |
| Инвестиции | -0,02% (-3,7) | Чистые расходы на труд | -0,00% (-0,9) |
| Совокупный экспорт | -0,08% (-18,3) | Налоги на труд | +0,00% (+0,2) |
| Совокупный импорт | +0,14% (+23,5) | Прочие налоги | +0,01% (+0,6) |

Если вспомнить, что в использованном при расчете этого сценария «естественном» замыкании модели Йохансена физические объемы потребления обобщенного правительства были фиксированы, как и цены незамещаемого импорта, то соответствующее процентное изменение в $-0,03\%$ для госрасходов косвенно свидетельствует о незначительности изменений внутренних цен по всем товарам и услугам, что в реальности и наблюдается при анализе неагрегированных результатов, для которых изменения цен всех 98 товаров лежат в диапазоне от $-0,24$ до $+0,52\%$.

В целом же результаты табл. 3 свидетельствуют о незначительных макроэкономических эффектах от реализации иждивенческого сценария. То же самое может быть сказано и об отраслевых эффектах, оценки которых приведены в таблице 4.

Подобно госрасходам в табл. 3, столбец изменения стоимости экспорта табл. 4 из-за экзогенности его физических объемов служит ориентиром для изменения цен внутри используемых укрупненных товарных групп. За исключением сельского хозяйства и пищевой промышленности отраслевые результаты в табл. 4 не вызывают удивления. В этих же двух отраслях наблюдается на первый взгляд аномальное снижение выпуска и числа занятых, хотя число потребителей N их продукции выросло на 6%. Анализ неагрегированных результатов позволяет объяснить такое поведение двумя процессами.

Первый запускается тем, что рост населения приводит в том числе к росту спроса на услуги, а они в среднем в модели из-

Т а б л и ц а 4

**Отраслевые эффекты реализации иждивенческого сценария присоединения
четырёх новых регионов (в % и млрд руб.), а также эффекты
на рынок труда (в % и тыс. чел.)**

T a b l e 4

**Effects on Industry From the Encumbrance Scenario in Which Four New Regions
Are Added (in % and bln RUB) and Effects on the Labor Market
(in % and thou persons)**

| Отрасли/товары | Экспорт | Импорт | Потребление домохозяйств | Выпуск | Число занятых (тыс. чел.) |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Сельское, лесное и рыбное хозяйство | -0,19% (-1,2) | +0,19% (+1,4) | +0,71% (+14,8) | -0,67% (-38,6) | -0,72% (-39,4) |
| Добыча полезных ископаемых | -0,11% (-6,0) | +0,03% (+0,1) | +0,82% (+0,1) | -0,20% (-23,1) | -0,14% (-1,5) |
| Пищевая промышленность | -0,11% (-0,8) | -1,25% (-14,6) | -1,33% (-89,5) | -1,07% (-83,3) | -1,01% (-13,6) |
| Легкая промышленность | -0,05% (-0,0) | +0,77% (+9,0) | +0,86% (+11,9) | +0,45% (+2,4) | +0,45% (+1,1) |
| Переработка древесины | -0,06% (-0,4) | +0,43% (+1,2) | +0,83% (+2,5) | +0,13% (+2,3) | +0,15% (+0,9) |
| Химическая и нефтехимическая промышленность | -0,09% (-3,7) | +0,24% (+5,7) | -1,31% (-26,2) | -0,36% (-39,0) | -0,15% (-2,2) |
| Строительные материалы | -0,05% (-0,1) | +0,31% (+0,5) | +0,83% (+0,8) | +0,09% (+1,2) | +0,10% (+0,5) |
| Металлургия и металлообработка | -0,07% (-1,5) | +0,16% (+1,4) | +0,85% (+1,2) | -0,01% (-0,7) | +0,02% (+0,2) |
| Машиностроение | -0,04% (-0,8) | +0,20% (+12,4) | +0,85% (+16,9) | +0,10% (+8,6) | +0,07% (+3,1) |
| Прочая обрабатывающая промышленность | -0,06% (-0,1) | +0,61% (+1,8) | +0,84% (+5,2) | +0,36% (+2,9) | +0,43% (+1,1) |
| Электро- и тепло-энергия и коммунальные услуги | -0,06% (-0,0) | +0,04% (+0,0) | +0,82% (+12,1) | +0,17% (+12,9) | +0,23% (+4,5) |
| Всего товары | -0,09% (-14,6) | +0,14% (+18,8) | -0,30% (-50,1) | -0,24% (-154,4) | -0,24% (-45,3) |
| Строительство | -0,07% (-0,2) | +0,02% (+0,1) | +0,81% (+0,1) | -0,04% (-4,5) | -0,05% (-3,4) |
| Транспортные услуги | -0,07% (-1,3) | +0,31% (+1,6) | +0,81% (+15,5) | +0,09% (+10,9) | +0,11% (+6,3) |
| Прочие услуги | -0,07% (-2,2) | +0,16% (+3,1) | +0,22% (+57,4) | +0,08% (+55,0) | +0,10% (+42,4) |
| Всего услуги | -0,07% (-3,8) | +0,17% (+4,8) | +0,26% (+73,1) | +0,07% (+61,4) | +0,09% (+45,3) |
| Итого | -0,08% (-18,3) | +0,14% (+23,5) | +0,05% (+23,0) | -0,06% (-93,0) | 0,00% (0,0) |

начально более высоко оплачиваемые, чем отрасли сельского хозяйства и пищевой промышленности (в этом можно, например, убедиться, глядя на значения откалиброванных внутри модели Йохансена дифференциалов оплаты труда), что приводит к наблюдаемому в табл. 4 перетоку рабочей силы численностью 43 тыс. чел. из этих отраслей в сектор услуг, что ведет к отмеченному спаду выпуска.

Второй процесс — это рост на 0,71% спроса на продукцию сельского хозяйства со стороны новых (пока что безработных) граждан, который приводит к изъятию для большинства сельскохозяйственных товаров сопоставимых объемов из промежуточного потребления. Если посчитать матрицу коэффициентов прямых затрат для выбранной агрегации из 14 отраслей, то расходы для сельского хозяйства и пищевой промышленности на товары этих отраслей составят 21 и 43% соответственно, поэтому уже совсем не удивительны снижения их выпусков на десятки миллиардов рублей при сокращении промежуточного потребления из-за роста конечного спроса на 14,8 млрд руб.

Кому-то, возможно, приведенное объяснение покажется не вполне исчерпывающим. Например, почему было выделено только два процесса, а не, скажем, три или четыре? На подобные (вполне справедливые) вопросы можно ответить только то, что автор старался по возможности упростить изложение, выделив причины, которые счел наиболее заметными. Полный же анализ результатов требует отдельного исследования с использованием так называемых BOTE-моделей (Back of the Envelope (BOTE) Model, модель-прикидка, или модель-оценка) и различных программных средств для декомпозиции результатов CGE-моделирования, подобных программе AnalyseGE из австралийского пакета CGE-моделирования GEMPACK. Более подробную информацию по этому вопросу можно найти в документации к AnalyseGE и в [Dixon, Jorgenson, 2013. Гл. 19], хотя надо при этом иметь в виду, что, согласно [Harrison et al., 2000], задача декомпозиции эффектов в результатах CGE-моделирования не совсем корректна из-за чувствительности к траектории пути экономики от базового равновесия к новому.

Для сценария полного объединения четырех регионов с Россией результаты на уровне экономики как в целом (табл. 5), так и отраслей (табл. 6) не требуют подобного описанному выше анализа, поскольку показывают, что в целом увеличение населения и рабочей силы на 6% ведет к близкому по величине росту практически всех макроэкономических и отраслевых показателей в номинальном выражении.

Т а б л и ц а 5

**Декомпозиция изменения российского ВВП в ценах 2016 года
по расходам и по доходам (в % и млрд руб.) в случае реализации
сценария полного объединения четырех регионов с Россией**

T a b l e 5

**Decomposition of Russian GDP Changes at 2016 Prices by Expenditures and Revenues
(in % and bln RUB) for the Scenario in Which Four Regions
Are Completely Unified With Russia**

| ВВП по расходам | | ВВП по доходам | |
|---------------------------|----------------------|----------------------------|----------------------|
| Показатель | Изменение | Показатель | Изменение |
| Номинальный ВВП | +6,87% (+5882,6) | Номинальный ВВП | +6,87% (+5882,6) |
| Потребление домохозяйств | +10,18% (+4531,5) | Амортизация | +3,06% (+353,7) |
| Потребление правительства | +1,97% (+311,1) | Чистые капитальные затраты | +9,43% (+3213,2) |
| Инвестиции | +3,18% (+627,8) | Чистые расходы на труд | +5,11% (+1261,5) |
| Совокупный экспорт | +4,94% (+1077,8) | Налоги на труд | +5,43% (+\$318,4) |
| Совокупный импорт | +4,08% (+665,6) | Прочие налоги | +7,82% (+735,7) |

Подобно иждивенческому сценарию рост расходов правительства в табл. 5 на +1,97% был вызван лишь ростом цен в целом по экономике. То же самое может быть сказано и про изменение стоимости экспорта, физические объемы которого были экзогенны в модели. Таким образом, примерно от 2 до 5 п.п. в каждой ячейке табл. 5, кроме расходов на импорт, можно объяснить инфляцией.

Для понимания приблизительного вклада конкретных групп товаров и услуг в эту инфляцию можно обратиться, как и ранее, к столбцу экспорта, только теперь уже в табл. 6.

Если же обратиться к неагрегированным данным, то изменения цен 98 товаров и услуг исходной ТЗВ лежали в диапазоне от -0,69% до +7,46%, что более-менее согласуется с прикидками для агрегированных групп из табл. 6. При оценках на разных агрегациях и разными способами получается, что рост реального ВВП России ожидается заметно скромнее номинального и составит около 2,5% при полном объединении четырех новых регионов с Россией, что до некоторой степени закономерно из-за заметной диспропорции запасов капитала и труда на присоединенных территориях по сравнению с аналогичными общероссийскими показателями. Более того, в свете продолжающихся боевых действий в этих регионах до сих пор идет заметное выбытие основного капитала, так что полученные прогнозы являются некоторой оптимистичной оценкой сверху. Реальные выпуски товаров почти во всех 98 отраслях вырастут, но

Т а б л и ц а 6

**Отраслевые эффекты реализации сценария полного объединения
четырёх новых регионов с Россией (в % и млрд руб.),
а также эффекты на рынок труда (в % и тыс. чел.)**

T a b l e 6

**Effects on Industry From the Scenario in Which Four New Regions Are Completely Unified
With Russia (in % and bln RUB) and Effects on the Labor Market
(in % and thou persons)**

| Отрасли/товары | Экспорт | Импорт | Потребление | Выпуск | Число занятых (тыс. чел.) |
|--|-------------------------|------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Сельское, лесное и рыбное хозяйство | +5,04% (+31,6) | +12,28% (+87,8) | +10,53% (+220,1) | +8,01% (+459,1) | +8,75% (+481,5) |
| Добыча полезных ископаемых | +6,27% (+354,2) | +0,43% (+1,2) | +9,96% (+1,8) | +6,37% (+725,1) | +5,20% (+58,2) |
| Пищевая промышленность | +4,76% (+32,4) | +12,37% (+144,5) | +10,07% (+677,2) | +8,39% (+653,9) | +9,09% (+122,7) |
| Легкая промышленность | +2,84% (+2,5) | +7,51% (+87,4) | +7,15% (+99,2) | +2,33% (+12,2) | +2,03% (+5,1) |
| Переработка древесины | +4,07% (+22,8) | +5,47% (+15,4) | +9,10% (+27,1) | +5,70% (+104,6) | +6,18% (+38,2) |
| Химическая и нефтехимическая промышленность | +5,56% (+230,3) | +3,89% (+92,0) | +9,37% (+187,8) | +6,52% (+701,4) | +6,22% (+90,6) |
| Строительные материалы | +3,44% (+3,6) | +2,67% (+4,4) | +8,88% (+8,6) | +4,62% (+62,0) | +3,82% (+19,7) |
| Металлургия и металлообработка | +4,60% (+100,8) | +1,62% (+13,8) | +7,88% (+11,3) | +4,70% (+298,5) | +4,08% (+61,9) |
| Машиностроение | +2,40% (+51,6) | +2,01% (+124,5) | +7,58% (+150,2) | +3,21% (+290,1) | +2,06% (+88,3) |
| Прочая обрабатывающая промышленность | +3,93% (+3,6) | +9,73% (+28,3) | +8,55% (+53,3) | +5,03% (+40,5) | +4,52% (+11,2) |
| Электро- и тепло-энергия и коммунальные услуги | +4,41% (+2,5) | +0,89% (+0,1) | +10,10% (+149,3) | +7,23% (+563,1) | +6,16% (+121,6) |
| Всего товары | +5,11% (+835,9) | +4,44% (+599,3) | +9,41% (+1585,8) | +6,17% (+3910,5) | +5,83% (+1098,9) |
| Строительство | +4,32% (+12,6) | +0,26% (+0,8) | +10,36% (+1,7) | +4,62% (+495,7) | +5,44% (+337,5) |
| Транспортные услуги | +4,45% (+85,9) | +4,50% (+23,7) | +10,18% (+194,1) | +6,67% (+802,7) | +7,13% (+411,3) |
| Прочие услуги | +4,42% (+143,3) | +2,11% (+41,8) | +10,68% (+2750,0) | +6,84% (+4600,8) | +6,00% (+2481,2) |
| Всего услуги | +4,42% (+241,9) | +2,36% (+66,2) | +10,65% (+2945,7) | +6,55% (+5899,2) | +6,06% (+3230,0) |
| Итого | +4,94% (+1077,8) | +4,08% (+665,6) | +10,18% (+4531,5) | +6,40% (+9809,7) | +6,00% (+4328,9) |

не более чем на 7%, а в большинстве своем будут меняться от +1 до +3%. Снижение производства ожидается только для следующих товаров ОКПД: кожа и изделия из кожи (–3,00%, или –2,574 млрд руб.) и разные промышленные изделия, не включенные в другие группировки (–0,31%, или –0,236 млрд руб.).

3. Оценка последствий перехода России к автаркии

Из-за наличия леонтьевских узлов в технологиях моделируемых отраслей в модели Йохансена, как правило, невозможно заместить неконкурирующую импортную продукцию, используемую в производстве, отечественными аналогами. Обнуление одного из входящих ресурсных потоков обнуляет и весь выпуск отрасли, а это, как правило, по той же причине фиксированности пропорций промежуточного потребления в итоге по цепочке приведет к остановке всей экономики.

Другая проблема с моделированием торговой блокады России — это невозможность нулевого потребления домохозяйствами ряда импортных товаров с эластичностью $\sigma_i^{MD} < 1$ замещения между импортным и отечественным товаром i .

В этой связи для расчета сценариев автаркии была проведена параметризация входных данных модели. Введен параметр s для доли замещаемого импорта в общем импорте России; входная база данных, которую можно мыслить как типичную ТЗВ, при расчетах преобразована следующим образом: прибавлены умноженные на s первые n строк потребления импорта к следующим n строкам для потребления отечественного продукта, а из первых n строк отнято прибавленное. Нетрудно видеть, что полученная новая база данных при любом $0 \leq s \leq 1$ будет сбалансированной, если таковой была исходная.

При расчетах всех сценариев с автаркией дополнительно предполагалось, что незамещаемый импорт может использоваться только в промежуточном потреблении, для чего во входной базе данных были перенесены транзакции с идущим на конечное потребление импортом в блок отечественного конечного потребления и скорректированы соответствующие стоимостные объемы замещаемого импорта. Такая корректировка преобразовала используемую модель в практически идентичную оригинальной MSG, потому что у Йохансена незамещаемый импорт шел только на промежуточное потребление.

Чтобы избежать перехода в область теории обратных и некорректных задач, будем использовать в сценариях автаркии следующую модификацию «естественного» замыкания модели Йохансена: зафиксируем доход домохозяйств $Y = \bar{Y}$, но сделаем

численность рабочей силы L эндогенной. Фиксация уровня доходов Y домохозяйств интерпретируется как меры правительства по купированию роста социальной напряженности, хотя истинная причина зафиксировать Y была в том, что из-за значительного профицита внешней торговли России при переходе к автаркии модель при «естественном» замыкании спрогнозировала бы гигантский рост потребления домохозяйствами основных товаров российской экспортной корзины, которые в основной своей массе имеют сырьевой характер. Снятие ограничений с числа занятых было нужно для выравнивания числа уравнений модели и эндогенных переменных и интерпретировалось как возможность появления безработицы или новых рабочих мест из-за процессов импортозамещения.

Результаты расчетов изменений ВВП и его компонент при переходе к полной автаркии, в случае если Россия может заместить любой импортный товар ($s = 1$), приведены в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Декомпозиция изменения российского ВВП в ценах 2016 года по расходам и по доходам (в % и млрд руб.) в случае реализации сценария перехода к полной автаркии при возможности импортозамещения всех товаров и услуг ($s = 1$) и постоянстве расходов домохозяйств

T a b l e 7

Decomposition of Russian GDP Changes at 2016 Prices by Expenditures and Incomes (in % and bln RUB) for Transition to the Full Autarky Scenario Assuming Import Substitution for All Goods and Services ($s = 1$) and Constant Household Expenditures

| ВВП по расходам | | ВВП по доходам | |
|---------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------|
| Показатель | Изменение | Показатель | Изменение |
| Номинальный ВВП | -7,41% (-6344,5) | Номинальный ВВП | -7,41% (-6344,5) |
| Потребление домохозяйств | 0,00% (0,0) | Амортизация | -2,00% (-231,6) |
| Потребление правительства | -1,91% (-302,3) | Чистые капитальные затраты | -13,12% (-4470,8) |
| Инвестиции | -2,65% (-523,4) | Чистые расходы на труд | +2,25% (+554,5) |
| Совокупный экспорт | -100,00% (-21813,4) | Налоги на труд | +2,50% (+146,9) |
| Совокупный импорт | -100,00% (-16294,5) | Прочие налоги | -24,92% (-2343,5) |

Отраслевые результаты для этого сценария можно найти в табл. 8. В целом они выглядят вполне ожидаемыми: прекращение экспорта ведет к спаду производства в добывающей промышленности и металлургии, а запрет импорта требует значительного наращивания производства продукции машиностроения и прочих

Т а б л и ц а 8

Отраслевые эффекты (в % и млрд руб.), а также эффекты на рынок труда (в % и тыс. чел.) от реализации сценария перехода к полной автаркии при возможности импортозамещения всех товаров и услуг ($s = 1$) и постоянстве расходов домохозяйств

T a b l e 8

Industry Effects (in % and bln RUB) and Effects on the Labor Market (in % and thou people) in the Scenario for Transition to Full Autarky Assuming Import Substitution for All Goods and Services ($s = 1$) and Constant Household Spending

| Отрасли | Экспорт | Импорт | Потребление | Выпуск | Число занятых (тыс. чел.) |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Сельское, лесное и рыбное хозяйство | -100,00% (-627,6) | -100,00% (-714,5) | +3,01% (+62,9) | +12,95% (+742,2) | +15,15% (+833,5) |
| Добыча полезных ископаемых | -100,00% (-5649,9) | -100,00% (-285,2) | -3,76% (-0,7) | -62,64% (-7129,3) | -53,35% (-596,9) |
| Пищевая промышленность | -100,00% (-679,9) | -100,00% (-1168,5) | +1,57% (+105,9) | +11,97% (+933,2) | +11,25% (+151,8) |
| Легкая промышленность | -100,00% (-88,0) | -100,00% (-1164,0) | -0,08% (-1,1) | +290,67% (+1525,4) | +290,84% (+730,0) |
| Переработка древесины | -100,00% (-558,6) | -100,00% (-280,7) | -0,77% (-2,3) | -7,05% (-129,5) | -7,51% (-46,4) |
| Химическая и нефтехимическая промышленность | -100,00% (-4144,9) | -100,00% (-2364,6) | -0,84% (-16,8) | -9,80% (-1054,4) | +32,95% (+480,1) |
| Строительные материалы | -100,00% (-105,2) | -100,00% (-163,9) | -0,73% (-0,7) | +8,15% (+109,3) | +11,01% (+56,8) |
| Металлургия и металлообработка | -100,00% (-2189,6) | -100,00% (-857,0) | -0,32% (-0,5) | -9,42% (-598,4) | +7,37% (+111,9) |
| Машиностроение | -100,00% (-2153,0) | -100,00% (-6189,0) | -0,26% (-5,1) | +61,66% (+5566,3) | +60,88% (+2612,2) |
| Прочая обрабатывающая промышленность | -100,00% (-92,9) | -100,00% (-291,3) | -0,75% (-4,7) | +23,86% (+191,9) | +40,58% (+100,2) |
| Электро- и тепло-энергия и коммунальные услуги | -100,00% (-56,4) | -100,00% (-9,2) | -1,06% (-15,7) | -5,49% (-427,4) | -2,71% (-53,5) |
| Всего товары | -100,00% (-16346,0) | -100,00% (-13487,9) | +0,72% (+121,2) | -0,43% (-270,6) | +23,24% (+4379,7) |
| Строительство | -100,00% (-292,2) | -100,00% (-295,4) | -0,86% (-0,1) | -3,45% (-370,1) | -3,14% (-194,8) |
| Транспортные услуги | -100,00% (-1931,6) | -100,00% (-525,2) | -1,23% (-23,4) | -21,86% (-2633,2) | -20,54% (-1184,3) |
| Прочие услуги | -100,00% (-3243,7) | -100,00% (-1986,0) | -0,38% (-97,7) | -1,52% (-1020,1) | -0,93% (-386,1) |
| Всего услуги | -100,00% (-5467,4) | -100,00% (-2806,7) | -0,44% (-121,2) | -4,47% (-4023,4) | -3,31% (-1765,2) |
| Итого | -100,00% (-21813,4) | -100,00% (-16294,5) | 0,00% (0,0) | -2,80% (-4294,0) | +3,62% (+2614,5) |

обрабатывающих производств, а также товаров легкой промышленности. При этом при имеющихся запасах основного капитала такой более-менее комфортный переход к автаркии для России возможен только при увеличении числа занятых на +3,62%, что вполне сопоставимо с численностью работоспособного населения четырех новых регионов России.

К сожалению, в современном мире для развитых экономик абсолютный технологический суверенитет практически недостижим, и поэтому предположение $s = 100\%$ дает в табл. 7 и 8 достаточно оптимистичные прогнозы. Так, расчеты показывают, что в используемой версии MSG для России при $s = 75\%$ перейти к полной автаркии, как в предыдущем сценарии, не получится из-за неразрешимости модели: с нулевым экспортом максимально допустимое снижение общего импорта (замещаемого и незамещаемого) будет лишь 80%, при этом падение ВВП составит уже 12,24% и вырастет безработица — снижение занятости на 1,85%. При желании можно установить точные причины отсутствия решения, но, как правило, они связаны либо с достижением минимального уровня потребления того или иного товара и невозможностью дальнейшего снижения выпуска соответствующей отрасли, либо с достижением каких-то неявных производственных границ тем или иным сектором. Получить условное представление о проблемах с импортозамещением для России в модели Йохансена в зависимости от значения доли s замещаемого импорта поможет табл. 9.

Т а б л и ц а 9

Зависимость ВВП, занятости и максимально допустимых значений снижения общего стоимостного объема от доли замещаемого импорта при переходе к режиму автаркии для российской модели Йохансена

T a b l e 9

Degree of Dependence of GDP, Employment and Maximum Possible Decrease in Imports on the Share of Substitutable Imports in the Johansen Model for Russia's Transition to Autarky

| Доля s замещаемого импорта (%) | Номинальный ВВП | Максимально допустимое снижение импорта | Число занятых (тыс. чел.) |
|----------------------------------|-----------------------|---|---------------------------|
| 0 | -23,59% (-20199,0) | -30,53% (-4974,7) | -15,04% (-10851,5) |
| 25 | -20,24% (-17324,5) | -45,40% (-7397,5) | -11,09% (-8000,2) |
| 50 | -16,48% (-14106,5) | -61,76% (-10063,5) | -6,72% (-4845,8) |
| 75 | -12,24% (-10476,3) | -79,86% (-13012,5) | -1,85% (-1332,1) |
| 100 | -7,41% (-6344,5) | -100,00% (-16294,5) | +3,62% (+2614,5) |

Конечно же, выводы о столь значительной чувствительности прогнозов макроэкономического моделирования к показателям, характеризующим степень присутствия в экономике незамещаемого импорта, не являются чем-то новым (см., например, [Gray, 1986]), однако они в очередной раз подчеркивают важность задачи оценки показателей зависимости от незамещаемого импорта для всех отраслей страны. Эта задача стала особенно актуальна в 2022 году.

Что касается анализа чувствительности результатов моделирования к параметрам эластичностей, то из-за использования повсеместно в MSG функций Леонтьева и Кобба — Дугласа эта проблема в значительной мере нивелируется по сравнению с современными CGE-моделями. Тем не менее для функции полезности домохозяйств эластичности замещения σ_i^{MD} в сценариях воссоединения территорий с Россией менялись на $\pm 20\%$ и расчеты показали незначительные изменения результатов, при этом почти для всех показателей наблюдался консерватизм знаков изменений (в сценариях автаркии значения σ_i^{MD} не важны из-за переноса конечного потребления импорта в соответствующий блок отечественной продукции), поэтому в целом можно говорить об устойчивости прогнозов модели к выбору эластичностей. Тем не менее, как видно из табл. 9, большее влияние на результат может иметь структура потребления незамещаемого импорта отраслями. Также остается открытым вопрос о чувствительности прогнозов к выбранной агрегации ТЗВ, однако он сам по себе может быть отдельным (и отнюдь не простым) исследованием.

4. Заключительные замечания

Как отмечалось в [Böhringer et al., 2003; Mitra-Kahn, 2008], среди экономистов нередко встречается крайне подозрительное отношение к CGE-моделям — во многом из-за восприятия их как неких непонятно как работающих «черных ящиков». Однако в наиболее развитых странах мира эти модели на регулярной основе используются уже более полувека при экспертизе тех или иных решений в области экономической политики. Несомненно, CGE-моделирование имеет свои границы применимости, частично даже обнаруженные при моделировании сценариев торговой блокады России. Имеет оно и высокий порог входа, так как требует одновременного владения как специфическими разделами экономической теории (устройство СНС, численные методы поиска равновесия Эрроу — Дебрё, различные вопросы международной торговли и пр.), так и умения программировать на разных, подчас очень своеобразных, языках (AMPL, GAMS, MPSGE, TABLO и др.).

Одной из целей этой статьи было желание автора снизить этот порог для российских коллег, а также немного познакомить их с очень богатым научным наследием Йохансена, одного из отцов-основателей CGE-моделирования, который, к сожалению, мало известен в России.

Для этого созданная Йохансеном в конце 1950-х годов первая в мире CGE-модель MSG была адаптирована к современной российской статистике СНС, чтобы проделать затем с ее помощью расчеты последствий реализации двух групп наиболее актуальных для России в 2022 году сценариев: (1) присоединение к России по итогам референдумов новых четырех регионов и (2) полная торговая блокада России из-за обострения кризиса на Украине. При подготовке входных данных для этой модели был разработан алгоритм балансировки ТЗВ, основанный на некотором дискретном аналоге алгоритма эластичного фильтра. Этот подход вполне можно использовать и для подготовки входных данных для других однорегиональных CGE-моделей.

Хотя у Йохансена модель формулировалась в терминах приростов переменных, в представленных расчетах использовалась ее версия в уровнях. Более подробно с особенностями формулировки модели этими двумя способами можно ознакомиться в готовящемся к публикации учебном пособии автора для студентов РАНХиГС, посвященном MSG.

Расчеты показали, что при завершении процессов объединения с Россией новые ее регионы с экономической точки зрения внесут положительный вклад в ВВП порядка 2–3% в реальном выражении и порядка 7% — в номинальном. Эти расчеты, тем не менее, являются оценкой сверху, поскольку проводились при оптимистичных предположениях, что не происходит неизбежного выбытия основного капитала из-за продолжающихся боевых действий в юго-западных приграничных регионах России. Отраслевые эффекты от объединения также будут почти везде положительны (в детализации 98 отраслей ТЗВ) и будут выражаться в росте как производства, так и конечного потребления соответствующих товаров. Переходный же период при присоединении в предположении необходимости обеспечивать, как прочих россиян, неработающее население новых регионов не вносит значительных изменений в макроэкономические и отраслевые показатели России.

Вполне ожидаемо куда более значительные изменения прогнозируются моделью Йохансена при реализации сценариев торговой блокады России: в самом оптимистичном сценарии, где Россия обладает полным технологическим суверенитетом, потери ВВП могут достигнуть 7% даже на фоне значительного роста промышленного производства. При этом для такого тотального импорто-

замещения также потребуются рост численности рабочей силы на величину, сопоставимую с численностью рабочей силы в новых регионах. Прочие сценарии перехода к автаркии из-за жесткости производственных функций модели Йохансена удалось сосчитать для различных долей незамещаемого импорта только в предположении, что полная торговая блокада импорта невозможна. При этом моделью прогнозировались падения ВВП тем больше по сравнению со сценарием полного технологического суверенитета, чем больше была доля незамещаемого импорта товаров и услуг в импорте России.

Такой разброс результатов для сценариев автаркии не является чем-то странным и, скорее, подчеркивает давно обсуждавшуюся в литературе проблему аккуратной оценки структуры потребления экономикой незамещаемого импорта и ее важности для правительственных прогнозов в случаях больших шоков.

Модель MSG позволяет также посчитать и различные комбинированные сценарии, в которых воссоединение регионов с Россией происходит на фоне автаркии той или иной глубины, однако ввиду большого числа таких сценариев результаты их расчетов не приводятся. В этой связи стоит лишь отметить, что для подобных результатов наблюдается следующая приблизительная закономерность: прикинуть, какой будет итог от одновременной реализации обоих типов сценариев, можно взяв итоги выбранного сценария автаркии и прибавив 2–3% (или отняв — в зависимости от знака изменения в сценарии полного объединения новых регионов с Россией) к соответствующему значению достаточно агрегированного показателя. В силу этого можно говорить о небольшом (несколько процентных пунктов) смягчении последствий перехода к автаркии за счет расширения экономики из-за присоединения новых регионов.

Полученные в настоящей работе результаты для сценариев автаркии можно также рассматривать как грубую оценку границ замещаемости импорта для российской экономики. Подобный взгляд вполне соответствует парадигме теории обратных и некорректных задач, элементы которой неявно использовал и Йохансен, например когда оценивал ряд эластичностей с помощью своей модели, «подгоняя» их значения так, чтобы добиться максимальной близости прогнозов к имеющейся статистике за несколько лет. Стоит отметить, что, согласно воспоминаниям коллег, он был одним из лучших специалистов по эконометрике в Норвегии и поэтому прекрасно осознавал преимущества и недостатки такого трудоемкого способа оценки структурных параметров своей модели.

Как можно убедиться, несмотря на более чем 60-летнюю историю, модель MSG даже сейчас смотрится достойно в ряду одно-

региональных CGE-моделей, так как содержит в себе не всегда встречающиеся и в современных CGE-моделях элементы: эндогенные инвестиции, амортизацию, LES-функции полезности домохозяйств, возможность моделировать убывающую отдачу от масштаба и примитивную динамику, дифференциацию работающих и неработающих жителей и незамещаемый импорт. С учетом продемонстрированной расчетами возможности сравнительно просто адаптировать модель Йохансена к современной российской статистике СНС: относительно несложная замена функций Леонтьева и Кобба — Дугласа на CES- или CRESH-функции в уравнениях этой модели даст в итоге вполне современную однострановую CGE-модель. Подход Йохансена к анализу результатов моделирования с помощью небольших моделей-оценок до сих пор может служить образцом для подражания исследователям в области CGE-моделирования.

Удивительным образом Йохансену удалось на примере MSG продемонстрировать большое количество разных идей и совместить на первый взгляд несовместимые вещи: теорию общего равновесия, дифференциальные уравнения, эконометрику и теорию обратных и некорректных задач. Поэтому эта модель до сих пор может быть очень полезна при обучении CGE-моделированию, а простота ее численного решения может быть весьма кстати при использовании MSG в качестве модели-оценки для предварительных расчетов или при анализе решения CGE-моделей со сходной структурой счетов.

В заключение автору хотелось бы поблагодарить Антона Вотинова и Алексея Зинченко, своих коллег по НИФИ, за проявленный активный интерес к теме сделанного им в январе 2022 года небольшого доклада по истории CGE-моделирования на одном из семинаров НИФИ. Именно этот доклад в итоге и лег в основу настоящего текста, а вопросы коллег мотивировали глубже разобраться в научном наследии Йохансена.

Литература

1. *Йохансен Л.* Очерки макроэкономического планирования / пер. с англ. Г. А. Китова, Т. Е. Кузнецова. М.: Прогресс, 1982.
2. *Сулакшин С. С., Бахтизин А. Р., Макаров В. Л.* Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт, 2007.
3. *Шананин А. А.* Исследование обобщенной модели чистой отрасли // Математическое моделирование. 1997. Т. 9. № 10. С. 73–82.
4. *Шананин А. А.* Непараметрический метод анализа технологической структуры производства // Математическое моделирование. 1999. Т. 11. № 9. С. 116–122.
5. *Шананин А. А.* Обобщенная модель чистой отрасли производства // Математическое моделирование. 1997. Т. 9. № 9. С. 117–127.
6. *Bjerkholt O.* The Making of the Leif Johansen Multi-Sectoral Model // History of Economic Ideas. 2009. Vol. 17. No 3. P. 103–126.

7. *Böhringer C., Rutherford T. F., Wiegard W.* Computable General Equilibrium Analysis: Opening a Black Box. Center for European Economic Research. Discussion Paper No 03-56. 2003.
8. *Britz W., Van der Mensbrugge D.* Reducing Unwanted Consequences of Aggregation in Large-Scale Economic Models — A Systematic Empirical Evaluation With the GTAP Model // *Economic Modelling*. 2016. Vol. 59. P. 463–472.
9. *Chinneck J. W.* Feasibility and Infeasibility in Optimization: Algorithms and Computational Methods. New York: Springer, 2007.
10. *Dixon P. B., Jorgenson D. W.* Handbook of Computable General Equilibrium Modeling. Oxford; Boston: Newnes, 2013.
11. *Dixon P. B., Koopman R. B., Rimmer M. T.* The MONASH Style of Computable General Equilibrium Modeling: A Framework for Practical Policy Analysis. In: *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. London: Elsevier, 2013. P. 23–103.
12. *Dixon P. B., Parmenter B. R., Sutton J., Vincent D. P.* ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy. Amsterdam: North Holland, 1982.
13. *Eatwell J., Milgate M., Newman P.* The New Palgrave: A Dictionary of Economics: In 4 Vols. Vol. 2. New York: MacMillan, 1987.
14. *Fæhn T., Isaksen E., Jacobsen K., Strøm B.* MSG-TECH: Analysis and Documentation of a General Equilibrium Model With Endogenous Climate Technology Adaptations. Oslo: Statistisk sentralbyrå, 2013.
15. *Førsund F. R., Hoel M., Longva S.* Production, Multi-Sectoral Growth and Planning: Essays in Memory of Leif Johansen. Amsterdam: North Holland, 1985.
16. *Gray P. H.* Non-competitive Imports and Gains From Trade // *The International Trade Journal*. 1986. Vol. 1. No 2. P. 107–128.
17. *Harrison J. W., Horridge M. J., Pearson K. R.* Decomposing Simulation Results With Respect to Exogenous Shocks // *Computational Economics*. 2000. Vol. 15. No 3. P. 227–249.
18. *Heide K., Massey E., Holmøy I., Foldøy S., Lisbeth L.* Macroeconomic Properties of the Norwegian Applied General Equilibrium Model MSG6. Oslo: Statistisk sentralbyrå, 2004.
19. *Johansen L.* A Multi-Sector Study of Economic Growth. Amsterdam: North Holland, 1960.
20. *Johansen L. L. V.* Kantorovich's Contribution to Economics // *The Scandinavian Journal of Economics*. 1976. Vol. 78. No 1. P. 61–80.
21. *Johansen L.* Lectures on Macroeconomic Planning: In 2 vols. Vol. 1. Amsterdam: North Holland, 1979.
22. *Johansen L.* Soviet Mathematical Economics // *The Economic Journal*. 1966. Vol. 76. No 303. P. 593–601.
23. *McManus M.* General Consistent Aggregation in Leontief Models // *Bulletin of Economic Research*. 1956. Vol. 8. No 1. P. 28–48.
24. *Mitra-Kahn B. H.* Debunking the Myths of Computable General Equilibrium Models. SCEPA. Working Paper No 1. 2008.
25. *Olsen Ø.* Johansen ville vært en meget sterk Nobel-kandidat hvis han hadde fått leve lenger // *Dagens Næringsliv*. 2010. October.
26. *Rutherford T. F.* Applied General Equilibrium Modeling With MPSGE as a GAMS Subsystem: An Overview of the Modeling Framework and Syntax // *Computational Economics*. 1999. Vol. 14. No 1. P. 1–46.
27. *Rutherford T. F.* GAMS — MPSGE Manual. Washington: GAMS Development Corporation, 2005.
28. *Scarf H. E.* On the Computation of Equilibrium Prices. Cowles Foundation. Discussion Papers No 232. 1967.
29. *Solow R. M.* Leif Johansen (1930–1982): A Memorial // *The Scandinavian Journal of Economics*. 1983. Vol. 85. No 4. P. 445–456.
30. *Thalberg B.* Leif Johansen 1930–1982. Oslo: Norsk Ekonomisk Tidsskrift, 2000.
31. *Zalai E., Tamás R.* The Issue of Macroeconomic Closure Revisited and Extended // *Acta Oeconomica*. 2016. Vol. 66. No 1. P. 1–31.

References

1. Johansen L. *Ocherki makroekonomicheskogo planirovaniya [Lectures on Macroeconomic Planning]*. Trans. from Eng. by G. A. Kitov, T. E. Kuznetsov. Moscow, Progress, 1982. (In Russ.)
2. Sulakshin S. S., Bakhtizin A. R., Makarov V. L. *Primenenie vychislimykh modeley v gosudarstvennom upravlenii [Application of Computable Models in Public Administration]*. Moscow, Nauchnyy ekspert, 2007. (In Russ.)
3. Shananin A. A. Issledovanie obobshchennoy modeli chistoy otrasli [Study of a Generalized Pure Industrial Model]. *Matematicheskoe modelirovanie [Mathematical Modeling]*, 1997, vol. 9, no. 10, pp. 73-82. (In Russ.)
4. Shananin A. A. Neparаметрическиy metod analiza tekhnologicheskoy struktury proizvodstva [A Non-parametric Method for Analyzing the Technological Structure of Production]. *Matematicheskoe modelirovanie [Mathematical Modeling]*, 1999, vol. 11, no. 9, pp. 116-122. (In Russ.)
5. Shananin A. A. Obobshchennaya model' chistoy otrasli proizvodstva [Generalized Model of Pure Industry]. *Matematicheskoe modelirovanie [Mathematical Modeling]*, 1997, vol. 9, no. 9, pp. 117-127. (In Russ.)
6. Bjerkholt O. The Making of the Leif Johansen Multi-Sectoral Model. *History of Economic Ideas*, 2009, vol. 17, no. 3, pp. 103-126.
7. Böhringer C., Rutherford T. F., Wiegard W. Computable General Equilibrium Analysis: Opening a Black Box. *Center for European Economic Research*, Discussion Paper no. 03-56, 2003.
8. Britz W., Van der Mensbrugge D. Reducing Unwanted Consequences of Aggregation in Large-Scale Economic Models - A Systematic Empirical Evaluation With the GTAP Model. *Economic Modelling*, 2016, vol. 59, pp. 463-472.
9. Chinneck J. W. *Feasibility and Infeasibility in Optimization: Algorithms and Computational Methods*. New York, Springer, 2007.
10. Dixon P. B., Jorgenson D. W. *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. Oxford, Boston, Newnes, 2013.
11. Dixon P. B., Koopman R. B., Rimmer M. T. The MONASH Style of Computable General Equilibrium Modeling: A Framework for Practical Policy Analysis. In: *Handbook of Computable General Equilibrium Modeling*. London, Elsevier, 2013, pp. 23-103.
12. Dixon P. B., Parmenter B. R., Sutton J., Vincent D. P. *ORANI: A Multisectoral Model of the Australian Economy*. Amsterdam, North Holland, 1982.
13. Eatwell J., Milgate M., Newman P. *The New Palgrave: A Dictionary of Economics*, vol. 2(4). New York, MacMillan, 1987.
14. Fæhn T., Isaksen E., Jacobsen K., Strøm B. *MSG-TECH: Analysis and Documentation of a General Equilibrium Model With Endogenous Climate Technology Adaptations*. Oslo, Statistisk sentralbyrå, 2013.
15. Forsund F. R., Hoel M., Longva S. *Production, Multi-Sectoral Growth and Planning: Essays in Memory of Leif Johansen*. Amsterdam, North Holland, 1985.
16. Gray P. H. Non-competitive Imports and Gains From Trade. *The International Trade Journal*, 1986, vol. 1, no. 2, pp. 107-128.
17. Harrison J. W., Horridge M. J., Pearson K. R. Decomposing Simulation Results With Respect to Exogenous Shocks. *Computational Economics*, 2000, vol. 15, no. 3, pp. 227-249.
18. Heide K., Massey E., Holmøy I., Foldøy S., Lisbeth L. *Macroeconomic Properties of the Norwegian Applied General Equilibrium Model MSG6*. Oslo, Statistisk sentralbyrå, 2004.
19. Johansen L. *A Multi-Sector Study of Economic Growth. Contributions to Economic Analysis*. Amsterdam, North Holland, 1960.
20. Johansen L. L. V. Kantorovich's Contribution to Economics. *The Scandinavian Journal of Economics*, 1976, vol. 78, no. 1, pp. 61-80.
21. Johansen L. *Lectures on Macroeconomic Planning*. In 2 vols., vol. 1(2). Amsterdam, North Holland, 1979.

22. Johansen L. Soviet Mathematical Economics. *The Economic Journal*, 1966, vol. 76, no. 303, pp. 593-601.
23. McManus M. General Consistent Aggregation in Leontief Models. *Bulletin of Economic Research*, 1956, vol. 8, no. 1, pp. 28-48.
24. Mitra-Kahn B. H. Debunking the Myths of Computable General Equilibrium Models. *SCEPA*, Working Paper no. 1, 2008.
25. Olsen Ø. Johansen ville vært en meget sterk Nobel-kandidat hvis han hadde fått leve lenger. *Dagens Næringsliv*, 2010, October.
26. Rutherford T. F. Applied General Equilibrium Modeling With MPSGE as a GAMS Subsystem: An Overview of the Modeling Framework and Syntax. *Computational Economics*, 1999, vol. 14, no. 1, pp. 1-46.
27. Rutherford T. F. *GAMS - MPSGE Manual*. Washington, GAMS Development Corporation, 2005.
28. Scarf H. E. On the Computation of Equilibrium Prices. *Cowles Foundation*, Discussion Papers no. 232, 1967.
29. Solow R. M. Leif Johansen (1930-1982): A Memorial. *The Scandinavian Journal of Economics*, 1983, vol. 85, no. 4, pp. 445-456.
30. Thalberg B. *Leif Johansen 1930-1982*. Oslo, Norsk Ekonomisk Tidsskrift, 2000.
31. Zalai E., Tamás R. The Issue of Macroeconomic Closure Revisited and Extended. *Acta Oeconomica*, 2016, vol. 66, no. 1, pp. 1-31.